

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
ядерной физики



Титова Л. В.
22.04.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.16 Ядерные реакции

1. Код и наименование специальности:

14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг

2. Специализация:

Проектирование и эксплуатация атомных станций

3. Квалификация выпускника: инженер – физик

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

кафедра ядерной физики

6. Составители программы:

д.ф.-м.н., профессор, Кадменский Станислав Георгиевич

7. Рекомендована:

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №4 от 18.04.2025 г.

8. Учебный год: 2028/2029

Семестр(ы): 7

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- ознакомление студентов с основными подходами, используемыми при описании различных типов ядерных реакций при низких, средних и промежуточных энергиях.

Задачи учебной дисциплины:

- привитие навыков решения прикладных задач, связанных с теорией ядерных реакций и использованием ЭВМ.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Учебная дисциплина Ядерные реакции относится к вариативной части блока Б1.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-1	Способен проводить производственно - технологические исследования систем и оборудования атомных электрических станций и ядерных энергетических установок, участвовать во внедрении результатов исследований	ПК-1.3	Владеет решением математических, физических и химических задач в комплексной инженерной деятельности	Знать: основные теоретические представления о низкоэнергетическом делении атомных ядер и свойствах атомных ядер, влияющих на процесс деления, основы квантовой теории деления атомных ядер, механизмы возникновения асимметрий и анизотропий в угловых распределениях продуктов двойного и тройного деления ядер. Уметь: при использовании аппарата квантовой теории деления рассчитывать анизотропии и асимметрии в угловых распределениях фрагментов двойного и тройного деления ядер. Владеть: теоретическими основами процесса деления атомных ядер, являющегося определяющим в работе атомной энергетики

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 4/144.

Форма промежуточной аттестации - экзамен

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			7 семестр
Аудиторные занятия		50	50
в том числе:	лекции	34	34
	практические	16	16
	лабораторные		
Самостоятельная работа		58	58
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации		36	Экзамен (36 ч)
Итого:		144	144

13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью
-------	---------------------------------	-------------------------------	---

			онлайн-курса, ЭУМК*
1. Лекции			
1.1	Потенциальное рассеяние	Потенциальное рассеяние на сферическом потенциале. Уравнение Шредингера и граничные условия. Фазы рассеяния. S-матрица для упругого рассеяния. Свойства S-матрицы. Унитарность. Условие обращения времени. Аналитические свойства S-матрицы в комплексной плоскости K. Полюса в верхней комплексной полуплоскости и связанные состояния. Сечения упругого рассеяния в окрестности полюсов. Полюса в нижней комплексной полуплоскости. Виртуальные полюса и сечение вблизи виртуальных полюсов, (квазистационарные полюса и сечения) общее выражение для S-матрицы потенциального рассеяния в комплексной плоскости. Траектории полюсов.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=23271
1.2	Многочастичная T-матричная теория ядерных реакций	Многочастичная T-матричная теория ядерных реакций. Уравнение Липпмана-Швингера для T-матрицы. Связь T- и S- матриц. Вероятность перехода в единицу времени. Сечение ядерных реакций и T-матрица. Оптическая теорема. Перераспределение потенциалов.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=23271
1.3	R-матричная теория ядерных реакций.	Внешняя и внутренние области реакций. Радиус Вигнера-Айзенбуда. Каналовые функции для открытых каналов реакции. Волновая функция системы во внешней области. Полный базис резонансных волновых функций системы и волновая функция системы во внутренней области. Сшивка внешней и внутренней функций системы на радиусе канала. Выражение S-матрицы через R-матрицу. Получение формул для сечений упругого рассеяния и ядерных реакций в R-матричной теории. Характеристики резонансного состояния - парциальные ширины и энергетический сдвиг. Приближение случайных фаз Бете. Случай сильно-перекрывающихся резонансов.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=23271
1.4	Оптическая модель ядерных реакций.	Усреднение сечения реакций и усредненная S-матрица. Нейтронные резонансы и нейтронная силовая функция. Модель "черного" ядра. Оптическая модель и комплексный оптический потенциал. Оптическая теорема. Описание сечений упругого рассеяния и реакции через оптический потенциал. Оптическая модель для альфа-частиц и произвольных составных частиц.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=23271
1.5	Теория статистических ядерных реакций	Энергетическая плотность и энтропия возбужденных состояний атомного ядра в статистической модели. Составное ядро и испарительная модель ядерных реакций. Метод Хаузера-Фешбаха для описания равновесных статистических ядерных реакций, протекающих через образования составного ядра.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=23271
1.6	Прямые ядерные реакции	Реакции срыва и подхвата с участием дейтронов, как пример прямых ядерных реакций. Теория Батлера поверхностных ядерных реакций. Метод искаженных волн для описания одноступенчатых прямых ядерных реакций.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=23271
1.7	Многоступенчатые прямые и статистические ядерные реакции.	Уравнения Липпмана-Швингера для T-матрицы и теория многоступенчатых прямых ядерных реакций. Предравновесные ядерные реакции, как пример многоступенчатых статистических реакций. Метод Пригожина для описания многоступенчатых	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=23271

		статистических ядерных реакций. Мастер-уравнения и ширины распада предравновесных состояний.	
1.8	Ядерные реакции в приближении высоких энергий.	Приближение высоких энергий. Метод Глаубера. Расчет сечений ядерных реакций и рассеяния нуклонов и составных частиц на ядрах через амплитуды нуклон-нуклонного рассеяния.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=23271
2. Практические занятия			
2.1	Квантовая теория спонтанного и низкоэнергетического вынужденного двойного деления ядер	Общие представления квантовой теории двойного деления ядер. Механизм генерации больших значений спинов и относительных орбитальных моментов фрагментов двойного деления ядер. Представление о «холодности» делящегося ядра	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=23271
2.2	Общие теоретические представления о тройном делении ядер	Анализ экспериментальных свойств тройного деления. Современные теоретические модели тройного деления ядер.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=23271
2.3	Квантовая теория спонтанного и низкоэнергетического вынужденного тройного деления ядер	Динамика тройного деления. Переход в уравнении Шредингера, описывающем движение продуктов тройного деления к гипергеометрическим координатам. Построение ядерных и кулоновских потенциалов взаимодействия продуктов деления. Механизм «встряски», отвечающий за вылет третьих частиц.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=23271
2.4	Т-нечетные асимметрии в тройном делении ядер	Понятие Т-нечетных асимметрий и их связь с Т-инвариантностью. Теоретическое описание Т-нечетных асимметрий в рамках квантовой теории тройного деления ядер.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=23271
2.5	Р-четные и Р-нечетные асимметрии в двойном и тройном делении ядер	Понятие Р-нечетных и Р-четных асимметрий и их связь с сохранением пространственной четности. Теоретическое описание Р-нечетных и Р-четных асимметрий в рамках квантовой теории двойного и тройного деления ядер.	https://edu.vsu.ru/enrol/index.php?id=23271

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.	Потенциальное рассеяние	2			4	6
2.	Многочастичная Т-матричная теория ядерных реакций	4	2		8	14
3.	Р-матричная теория ядерных реакций.	4	2		8	14
4.	Оптическая модель ядерных реакций.	4			6	10
5.	Теория статистических ядерных реакций	4	4		8	16
6.	Прямые ядерные реакции	6			8	14
7.	Многоступенчатые прямые и статистические ядерные реакции.	6	4		8	18
8.	Ядерные реакции в приближении высоких энергий.	4	4		8	16
	Итого:	34	16		58	108

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Студентам на лекциях необходимо вести подробный конспект и стараться понять материал курса. Для полного понимания материала следует активно использовать консультации. Для самостоятельного изучения разделов курса, рекомендованных преподавателем, необходимо пользоваться основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами.

На практических занятиях необходимо уметь решать задачи и анализировать решение, на устных опросах обучаемый должен уметь демонстрировать полученные на лекциях и практических занятиях знания, умения и навыки, отвечать на поставленные вопросы, поддерживать дискуссию по существу вопроса.

Методическое обеспечение аудиторной работы: учебно-методические пособия для студентов, учебники и учебные пособия, электронные и Интернет-ресурсы.

Методическое обеспечение самостоятельной работы: учебно-методические пособия по организации самостоятельной работы, контрольные задания и тесты в бумажном и электронном вариантах, тестирующие системы, дистанционные формы общения с преподавателем. Контроль самостоятельной работы реализуется с помощью опросов, тестов, вопросов по темам заданий и т.д.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Ландау, Лев Давыдович. Теоретическая физика : учебное пособие для студ. физ. спец. ун-тов : [в 10 т.] / Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшиц. — М. : Наука : Физматлит, 1973-.
2.	Барсуков, О. А. Основы физики атомного ядра. Ядерные технологии : монография / О. А. Барсуков. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2011. — 560 с. — ISBN 978-5-9221-1306-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/2722
3.	Сивухин, Дмитрий Васильевич. Общий курс физики: [учебное пособие для студ. физ. специальностей вузов]: [в 5 т.] / Д.В. Сивухин. — М.: Физматлит, 2010. Т. 1: Механика. — Изд. 5-е, стер. — 2010.— 560 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4.	Капитонов И. М. Введение в физику ядра и частиц: учеб. пособие для студ. физ. фак. класс. ун-тов и других вузов, обуч. по специальности "Ядер. физика" и направлению "Физика" / И. М. Капитонов. — Изд. 3-е, испр. и доп. — М.: КомКнига, 2006.— 327с.
5.	Мухин К. Н. Экспериментальная ядерная физика: учебник: [в 3 т.] / К.Н. Мухин. — Санкт-Петербург; Москва; Краснодар: Лань, 2009-. — (Классическая учебная литература по физике / ред. совет: Ж.И. Алферов (пред.) [и др.]). — Т.2: Физика ядерных реакций. — Изд. 7-е, стер. — 2009.— 318 с.
6.	Ишханов Б. С. Частицы и атомные ядра : учебник по дисциплине "Физика атом. ядра" для студ. вузов, обуч. по специальностям 010701 - "Физика", 010705 - "Физика атом. ядра и частиц" и направлению 010700 - "Физика" / Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н.П. Юдин ; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. — Изд. 2-е, испр. и доп. — М. : URSS : Изд-во ЛКИ, 2007. — 581 с.(60 шт.)
7.	Ситенко, Алексей Григорьевич. Теория ядерных реакций : Учебное пособие для физ. спец. вузов / А.Г. Ситенко. — М. : Энергоатомиздат, 1983. — 135,[1] с. : ил, табл.
8.	Лейн А. Теория ядерных реакций при низких энергиях / А. Лейн, Р. Томас. — М.: изд.-во и иностр. лит. 1960.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
9.	www.lib.vsu.ru — ЗНБ ВГУ.
10.	https://edu.vsu.ru — Электронный университет ВГУ
11.	https://e.lanbook.com — ЭБС «Лань»
12.	https://www.studentlibrary.ru — ЭБС «Консультант студента»
13.	https://urait.ru — Образовательная платформа «ЮРАЙТ»
14.	https://rucont.ru - Информационно-телекоммуникационная система «Контекстум»

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1.	Ситенко, Алексей Григорьевич. Лекции по теории ядра: Учебное пособие для вузов / А.Г. Ситенко, В.К. Тартаковский. — М. : Атомиздат, 1972. — 351 с. — Библиогр.: с. 342-347.

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При проведении занятий по дисциплине используются следующие образовательные технологии:

1. активные и интерактивные формы проведения занятий;
2. компьютерные технологии при проведении занятий;
3. презентационные материалы и технологии при объяснении материала на лекционных и практических занятиях;
4. специализированное оборудование при проведении лабораторных работ;
5. разбор конкретных ситуаций при постановке целей и задач к разработке прикладных программ, при выборе программного обеспечения по установленным критериям, при разработке программ по предусмотренным алгоритмам и метода.

Для самостоятельной работы используется ЭБС Университетская библиотека online - www.lib.vsu.ru - ЗНБ ВГУ. Программное обеспечение, применяемое при реализации дисциплины – Microsoft Windows, LibreOffice, CodeBlocks, Adobe Reader, Mozilla FireFox.

Дистанционные образовательные технологии (ДОТ) применяются с использованием образовательного портала «Электронный университет ВГУ».

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Учебная аудитория: специализированная мебель

Лаборатория им. Л.Н. Сухотина

Специализированная мебель, ноутбук, проектор

Microsoft Windows 7, Windows 10

LibreOffice, Adobe Reader

Компьютерный класс для самостоятельной работы

Специализированная мебель, компьютеры с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета

Microsoft Windows 10, LibreOffice, Adobe Reader

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Потенциальное рассеяние	ПК-1	ПК-1.3	Темы докладов, собеседование по вопросам к экзамену
2.	Многочастичная Т-			

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	матричная теория ядерных реакций			
3.	R-матричная теория ядерных реакций.			
4.	Оптическая модель ядерных реакций.			
5.	Теория статистических ядерных реакций			
6.	Прямые ядерные реакции			
7.	Многоступенчатые прямые и статистические ядерные реакции.			
8.	Ядерные реакции в приближении высоких энергий.			
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				Перечень вопросов к экзамену Пункт 20.2

20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Перечень примерных тем докладов:

1. Борновское приближение в квантовой теории рассеяния.
2. Двухпотенциальная формула Гольдбергера-Геллмана.
3. Достоинства и недостатки метода сильной связи каналов.
4. Обобщённый оптический потенциал и его свойства: комплексность, нелокальность, зависимость от энергии
5. Связь «входных» состояний с состояниями сплошного спектра и компаунд-состояниями сложной структуры.
6. Анализ экспериментальных сечений в оптической модели
7. Трудность учёта граничных условий в многоканальном подходе к описанию реакций с перераспределением нуклонов.
8. Гипотеза составного ядра Бора
9. Распределение Портера — Томаса. Корреляционная функция.
10. Теорема Сэчлера для деформированных ядер.
11. Моделирование многочастичных нуклон-нуклонных корреляций плотностной зависимостью эффективных сил.

Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при аттестации

Критерии оценивания компетенций	Шкала оценок
Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их при решении практических задач	Отлично
Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, но допускает незначительные ошибки, неточности, испытывает затруднения при решении практических задач	Хорошо

Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускает значительные ошибки при решении практических задач	Удовлетворительно
Обучающийся демонстрирует явное несоответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям	Неудовлетворительно

20.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: собеседование по вопросам к экзамену

Перечень вопросов к экзамену:

1. Потенциальное рассеяние на сферическом потенциале. Уравнение Шредингера и граничные условия.
2. Энергетическая плотность и энтропия возбужденных состояний атомного ядра в статистической модели.
3. Фазы рассеяния. S-матрица для упругого рассеяния. Свойства S-матрицы. Унитарность. Условие обращения времени.
4. Составное ядра и испарительная модель ядерных реакций.
5. Аналитические свойства S-матрицы в комплексной плоскости
6. Полюса в верхней комплексной полуплоскости и связанные состояния.
7. Сечения упругого рассеяния в окрестности полюсов.
8. Метод Хаузера-Фешбаха для описания равновесных статистических ядерных реакций, протекающих через образования составного ядра.
9. Полюса в нижней комплексной полуплоскости. Виртуальные полюса и сечение вблизи виртуальных полюсов, (квазистационарные полюса и сечения) общее выражение для S-матрицы потенциального рассеяния в комплексной плоскости. Траектории полюсов.
10. Реакции срыва и подхвата с участием дейтронов, как пример прямых ядерных реакций.
11. Многочастичная T-матричная теория ядерных реакций. Уравнение Липпмана-Швингера для T-матрицы. Связь T- и S- матриц.
12. Теория Батлера поверхностных ядерных реакций. Метод искаженных волн для описания одноступенчатых прямых ядерных реакций.
13. Вероятность перехода в единицу времени. Сечение ядерных реакций и T-матрица. Оптическая теорема. Перераспределение потенциалов.
14. Описание сечений упругого рассеяния и реакции через оптический потенциал.
15. Внешняя и внутренние области реакций. Радиус Вигнера-Айзенбуда. Каналовые функции для открытых каналов реакции.
16. Предравновесные ядерные реакции, как пример многоступенчатых статистических реакций.
17. Волновая функция системы во внешней области. Полный базис резонансных волновых функций системы и волновая функция системы во внутренней области.
18. Метод Пригожина для описания многоступенчатых статистических ядерных реакций.
19. Сшивка внешней и внутренней функций системы на радиусе канала. Выражение S-матрицы через R- матрицу.
20. Мастер-уравнения и ширины распада предравновесных состояний.
21. Получение формул для сечений упругого рассеяния и ядерных реакций в R-матричной теории.
22. Характеристики резонансного состояния - парциальные ширины и энергетический сдвиг.
23. Приближение высоких энергий. Метод Глаубера.

24. Приближение случайных фаз Бете. Случай сильно-перекрывающихся резонансов.
25. Расчет сечений ядерных реакций и рассеяния нуклонов и составных частиц на ядрах через амплитуды нуклон-нуклонного рассеяния.
26. Усреднение сечения реакций и усредненная S- матрица. Нейтронные резонансы и нейтронная силовая функция
27. Оптическая модель для альфа-частиц и произвольных составных частиц.
28. Модель "черного" ядра. Оптическая модель и комплексный оптический потенциал. Оптическая теорема.
29. Уравнения Липмана-Швингера для Т-матрицы и теория многоступенчатых прямых ядерных реакций.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и/или практическое(ие) задание(я), позволяющее(ие) оценить степень сформированности умений и(или) навыков, и(или) опыт деятельности.

При оценивании используются количественные или качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены ниже.

Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при аттестации

Критерии оценивания компетенций	Шкала оценок
Обучающийся демонстрирует полное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их при решении практических задач	Отлично
Обучающийся демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, но допускает незначительные ошибки, неточности, испытывает затруднения при решении практических задач	Хорошо
Обучающийся демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям, допускает значительные ошибки при решении практических задач	Удовлетворительно
Обучающийся демонстрирует явное несоответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателям	Неудовлетворительно

Пример контрольно-измерительного материала (КИМ)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
ядерной физики
_____ Титова Л. В.

Направление подготовки:

14.05.02 Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг.

Дисциплина: Б1.В.16 Ядерные реакции

Вид контроля: Экзамен.

Контрольно-измерительный материал №1

1. Реакции срыва и подхвата с участием дейтронов, как пример прямых ядерных реакций.
2. Модель "черного" ядра. Оптическая модель и комплексный оптический потенциал. Оптическая теорема.

Преподаватель _____
подпись расшифровка подписи

21. Фонд оценочных средств

Тестовые задания

1. Процесс взаимодействия атомного ядра с другим ядром или элементарной частицей, который может сопровождаться изменением состава и строения ядра:
1) ядерная реакция
2) ядерное движение
3) ядерный взрыв
4) упругое рассеяние
2. Двухстадийный процесс, протекающий при не очень большой кинетической энергии сталкивающихся частиц (примерно до 10 МэВ):
1) прямые ядерные реакции
2) косвенные ядерные реакции
3) реакции с образованием составного ядра
4) статистические реакции
3. Переход в невозбуждённое состояние может осуществляться различными путями, называемыми:
1) маршрутами реакции.
2) каналами реакции
3) тоннелями реакции
4) путями реакции
4. Какая ядерная реакция может быть использована для получения цепной реакции деления:
1) $\text{Th} + n \rightarrow \text{In} + \text{Nb}$
2) $\text{Cm} + n \rightarrow 4n + \text{Mo} + \text{Xe}$
3) $\text{C} \rightarrow \text{Li} + \text{Li}$

4) $Ra \rightarrow He + Th$

5. При самопроизвольном распаде ядра энергия:

1) не выделяется

2) выделяется

3) частично выделяется

4) может выделяться, а может и поглощаться

6. Потенциальный барьер, препятствующий проникновению в ядро атома, существует для... 1) ...нейтронов 2) ...протонов

А) Только 1. **Б) Только 2.** В) 1 и 2. Г) Ни 1, ни 2.

7. Для описания процессов рассеяния частиц вводят понятие матрицы столкновений, которую иначе можно назвать

1) S-матрицей

2) T-матрицей

3) P-матрицей

4) G-матрицей

8. В случае эрмитовости гамильтониана взаимодействия в задаче рассеяния на матрицу столкновений системы накладывается условие:

1) унитарности

2) комплексного сопряжения

3) эрмитовости

4) обратимости

9. Унитарность матрицы столкновений возникает:

1) только при эрмитовых гамильтонианах взаимодействия

2) только при неэрмитовых гамильтонианах взаимодействия

3) возникает при любых гамильтонианах взаимодействия системы

4) матрица столкновений не обладает свойством унитарности при любых гамильтонианах взаимодействий

10. Симметричность матрицы столкновений возникает в случае:

1) инвариантности гамильтониана взаимодействия относительно времени

2) инвариантности гамильтониана взаимодействия относительно координат

3) инвариантности гамильтониана взаимодействия относительно вращения

4) инвариантности гамильтониана взаимодействия относительно изменения порядка спиновых переменных

11. Поляризация продуктов ядерной реакции происходит в случае:

1) нецентрального взаимодействия сталкивающихся частиц, которые могут быть как поляризованными, так и неполяризованными

2) в случае центрального столкновения частиц

3) в случае столкновения бесспиновых частиц

4) только в случае поляризации обеих сталкивающихся частиц

12. Формула, описывающая сечение резонансной ядерной реакции

1) Брейта-Вигнера

2) Грина

3) Коши

4) Эйнштейна

13. Понятие радиуса канала в R-матричной теории ядерных реакций радиус канала r определен как

1) если $r < R$, то ядро и частица образуют составную систему, свойства которой определяются ядерным взаимодействием, если $r > R$, то ядро и частица взаимодействуют силами неядерной природы – кулоновскими, центробежными (R – радиус ядра)

2) если $r > R$, то ядро и частица образуют составную систему, свойства которой определяются ядерным взаимодействием, если $r < R$, то ядро и частица взаимодействуют силами неядерной природы – кулоновскими, центробежными (R – радиус ядра)

3) в области $r < R$, ядро и частица испытывают ядерное взаимодействие, если $r > R$, то ядро и частица не взаимодействуют (R – радиус ядра)

4) в области $r < R$, то ядро и частица испытывают кулоновское взаимодействие, если $r > R$, то ядро и частица взаимодействуют только ядерными силами (R – радиус ядра)

14. Из связи R-матрицы с S-матрицей следует, что если S-матрица унитарна и симметрична, то R-матрица:

1) вещественна и симметрична

2) комплексна и симметрична

3) вещественна и несимметрична

4) комплексна и несимметрична

15. Для нейтронов малых энергий и ядер со средними массовыми числами:

1) радиационные ширины значительно меньше нейтронных ширин

2) радиационные ширины значительно большей нейтронных ширин

3) радиационные ширины соизмеримы с нейтронными ширинами

4) нейтронные ширины стремятся к нулю

Задания с развернутым ответом

1. Дайте определение сечения рассеяния.

Ответ: отношение числа частиц, рассеянных в элементарный телесный угол, к полному числу частиц

2. Какой физический смысл имеет унитарность матрицы столкновений? Ответ: условие унитарности матрицы столкновений выражает закон сохранения вероятности в системе и эквивалентно требованию равенства суммарных потоков вероятности, связанных с расходящимися и сходящимися волнами.
3. Какие особенности имеют полюса S-матрицы в верхней комплексной полуплоскости? Ответ: S-матрица в комплексной полуплоскости имеет полюса только на мнимой оси и соответствуют связанным состояниям системы.
4. Какие представления квантовой механики вы знаете? Опишите их особенности. Ответ: представление Шредингера (гамильтониан системы не зависит от времени, от времени зависит волновая функция системы); представление Гейзенберга (волновая функция не изменяется, изменяется гамильтониан системы); представление взаимодействия или представление Таманаго-Швингера (изменение состояния системы с течением времени описываются изменяющимися волновыми функциями и гамильтонианом взаимодействия)
5. В чем состоит теорема взаимности? Ответ: теорема взаимности устанавливает связь между матричными элементами матрицы столкновений для прямых и обращенных по времени переходов и является следствием инвариантности матрицы столкновений относительно обращения времени.
6. Дайте определение радиационной ширины уровня составного ядра. Ответ: радиационная ширина уровня составного ядра определяется отношением постоянной Планка к времени жизни уровня по отношению к гамма-распаду ядра (или произведение постоянной Планка и вероятности гамма-перехода)
7. Как ведет себя полная ширина распада уровня составного ядра с увеличением энергии возбуждения? Ответ: полная ширина распада уровня составного ядра определяется суммой радиационной ширины и парциальной ширины, соответствующей испусканию какой-либо частицы составным ядром. С увеличением энергии возбуждения составного ядра полная ширина уровня составного ядра растет, поскольку при более высокой энергии возбуждения возможно испускание большего числа частиц, возможно большее число конечных состояний остаточного ядра, отдельные парциальные ширины, определяющие испускание частиц составным ядром, увеличиваются с ростом энергии.
8. Каковы условия возникновения резонансов в ядерных реакциях? Ответ: наличие резонансов в энергетической зависимости сечений реакций. Падающая частица должна проникнуть внутрь ядра и привести к образованию составного ядра только в том случае, если ее энергия равна или близка к резонансному значению энергии.
9. Кем предложено описание случайного распределения нейтронных ширин для резонансов в ядре? Ответ: Портером и Томасом
10. Какую характеристику необходимо знать, чтобы описать ядерную температуру в статистической модели составного ядра? Ответ: зависимость плотности уровней составного ядра от энергии возбуждения
11. В чем суть оптической модели ядерных реакций при низких энергиях? Ответ: в оптической модели взаимодействие нуклона с ядром описывается одночастичным комплексным потенциалом, действительная часть которого характеризует усредненный потенциал ядра. Мнимая часть оптического потенциала учитывает связь рассеиваемого нуклона с внутренними степенями свободы ядра-мишени, проявляющуюся в поглощении и приводящую к затуханию одночастичного движения.

12. Чем определяется сечение рассеяния и сечение поглощения для абсолютно черного ядра в оптической модели ядерных реакций? Ответ: указанные сечения равны друг другу и определяются площадью геометрического сечения ядра.
13. Опишите механизм реакции срыва под действием дейтрона, если его энергия меньше высоты кулоновского барьера. Ответ: благодаря кулоновским силам отталкивания, действующим на протон, в область действия ядерных сил ядра может попасть только нейтрон. В этом случае конечное ядро образуется в результате захвата нейтрона, а протон вылетает с избытком кинетической энергии, обусловленным как отдачей, полученной при развале дейтрона, так и кулоновским отталкиванием. Из-за несовпадения центра тяжести и центра заряда в дейтроне в результате кулоновского взаимодействия возможно также электрическое расщепление дейтрона, при котором одновременно нейтрон и протон.
14. Какие характеристики остаточного ядра позволяют определить угловое распределение продуктов реакции срыва? Ответ: изучение вида углового распределения протонов или нейтронов позволяет определить значения спина и четности соответствующего состояния остаточного ядра. Также реакцию срыва можно использовать для нахождения приведенных ширин уровней остаточного ядра.
15. Простейшие диаграммы Фейнмана, отвечающие бинарным ядерным реакциям, содержат одну внутреннюю линию. Каким особенностям амплитуды реакции соответствуют такие диаграммы? Ответ: амплитуды диаграмм с одной внутренней линией имеют полюсные особенности

Критерии и шкалы оценивания:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

1) открытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ, в том числе частично.

2) задания с развернутым ответом:

- 5 баллов – указан верный ответ;
- 2 балла – указан частично верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ.